음성공학을 위한 변이음 정보

이호영, 지민제, 김영송
(부산수산대 국문과, 전자통신연구소 자동통역연구실, 부산대 국문과)

Allophonic Information Necessary for Speech Technology

Lee, Ho-Young, Zhi, Minje, Kim, Young-Song
(Nat'l Fisheries Univ. of Pusan, ETRI, Pusan Nat'l Unv.)

요 약

하나의 음소는 보통 음성환경에 따라 여러 변이음으로 실현된다. 음성합성기로 한국어의 문장을 자연스럽게 합성해 내려고 할 때나 음성인식기가 한국어의 문장을 정확하게 인식하도록 개발하고자 할 때 변이음에 관한 정보는 필수적이다. 따라서 이 논문의 목적은 음성공학에 필요한 변이음 정보를 제공하는 것이다. 이 논문에서는 음성공학에 필요한 한국어의 주요 변이음 규칙들을 간단히 논의하고 몇몇 중요한 변이음들의 음향적 특징을 논의한다.

I. 머리말

이 논문에서는 한국어의 음성합성기나 음성인식기 등의 개발에 필요한 변이음 규칙들 — 구개음화, 원순음화, 유성음화, 자음약화, 유성음의 무성화, 무파화 및 무음개방, 뒤김소리되기, 모음약화, 'ㅚ, ㅟ, ㅢ'의 변이음 — 을 간단히 논의하고, 주요 변이음들의 음향적 특징을 밝히도록 하겠다.

II. 한국어의 음성합성에 필요한 변이음 규칙들

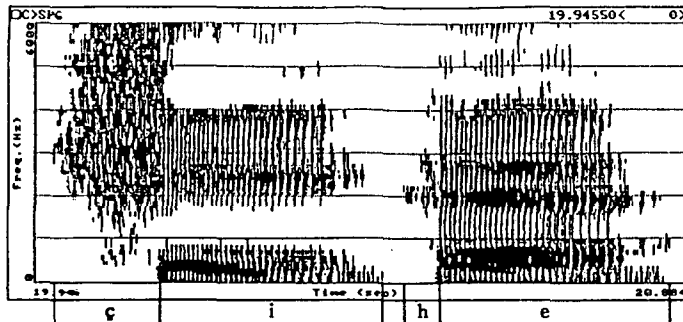
1. 구개음화

한국어의 자음은 전설 구개 모음 [i, y]와 경구개 반모음 [j, ɥ] 앞에서, 그리고 경구개 파찰음 /ㅈ, ㅊ, ㅉ/ 앞에서 구개음화된다.

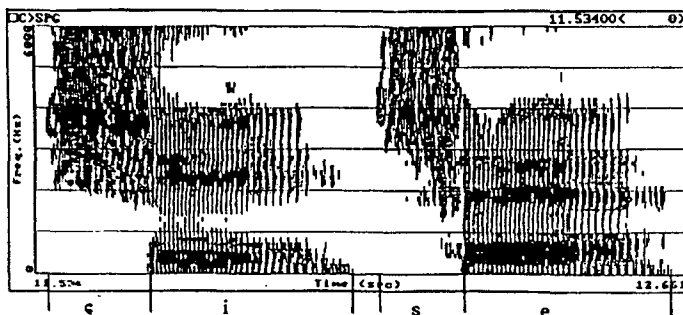
(1) ㄱ, 양순음의 구개음화: 핑계 [p^{hj}iŋg(j)e], 감자 [g̊am^{j}dʑa]
ㄴ, 치조음의 구개음화: 뛰다 [t^{h}^{y}ida], 씨 [ɕ=i], 갈채 [g̊aʎtɕ^{h}ɛ]
오냐 [on^{j}a / oɲa], 달력 [d̥al^{j}l^{j}ʌk / d̥aʎʎʌk]
ㄷ, 연구개음의 구개음화: 키 [c^{h}i], 귀 [j̊^{w}ɥi], 각자 [g̊actɕ=a]
ㄹ, 성문음의 구개음화: 힘 [çim], 휘다 [ʍ^{j}ida]

구개음화는 느리고 신중한 말씨에서는 음절이 규칙의 적용범위로 작용하나, 대화체의 말씨에서는 규칙의 적용범위가 음절경계를 넘어 앞음절의 음절말 자음에까지 적용된다.

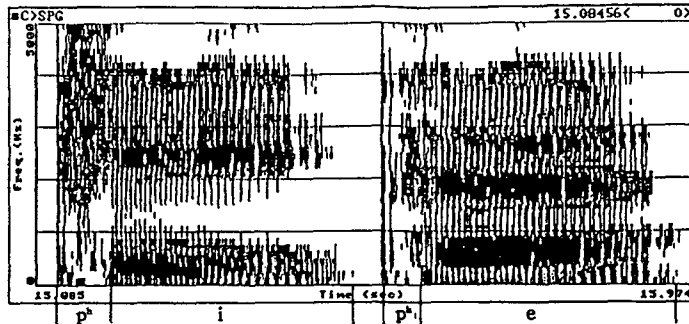
구개음화에 의해 생기는 변이음들 가운데서 청각적으로, 음향적으로 가장 특징적인 소리는 성문마찰음 /ㅎ/, 치(조)마찰음 /ㅅ, ㅆ/, 그리고 유기경음 /ㅋ, ㅌ, ㅍ, ㅊ/이다.

(2) ㄱ. 히 [çi] ㄴ. 헤 [he]

마찰음의 중심 공명 주파수대는 좁힘점에서 입술까지의 길이에 의해 결정되는데, 그 길이가 짧을수록 중심 공명 주파수대는 높아지게 된다 (Heinz and Stevens 1961, Pickett 1980). 또한 일반적으로 중심 공명 주파수대의 에너지의 크기는 좁힘점의 간극(aperture)과 좁힘점을 통과하는 기류의 세기와 관계되는데, 좁힘점의 간극이 작을수록 중심 공명 주파수대의 에너지가 커지며, 좁힘점을 통과하는 기류의 세기가 강할수록 중심 공명 주파수대의 에너지가 커진다.

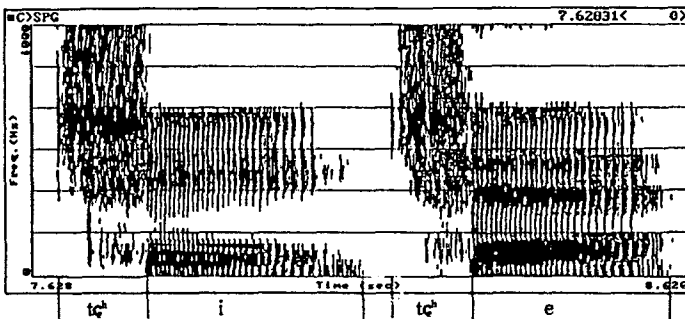
따라서 /ㅎ/의 경우 모음 /i/ 가 뒤이어 올 때는 전설이 경구개쪽으로 접근해서 강한 마찰을 초래하기 때문에 비교적 넓은 주파수대에 걸쳐 강한 에너지가 분포하며, 좁힘점과 입술 사이의 길이가 다른 모음 앞에서보다 훨씬 짧기 때문에 고주파수대 (특히 4000 Hz 이상)에도 강한 에너지가 분포한다. 이에 반해서 /ㅎ/은 다른 모음 앞에서는 이렇다 할 좁힘이 일어나지 않아서 약한 에너지만이 분포하며, /ㅎ/의 조음시 혀가 뒷모음의 조음위치에 있기 때문에 뒷모음의 공명 주파수대 (formant frequency)에 에너지가 몰려 있다.

(3) ㄱ. 시 [ɕi] ㄴ. 세 [se]

치조마찰음 /ㅅ, ㅆ/의 경우에는 /ㅎ/보다 조음기관의 좁힘점의 간극이 더 줄어들어서 모든 모음 앞에서 스펙트로그램상 에너지의 강도가 /ㅎ/의 변이음들보다 더 강하다. /ㅅ, ㅆ/은 모음 /i/ 앞에서 다른 모음 앞에서보다 조음점이 뒤로 이동하여 좁힘점과 입술과의 길이가 길어지기 때문에 다른 모음 앞에서보다 중심 공명 주파수대가 낮아져서 스펙트로그램상 낮은 주파수대역 (2000-3000 Hz)에도 에너지가 분포하며, 중심에너지의 주파수대역이 약간 하강하게 된다.

파열음의 경우 구개음화된 변이음의 음향적 특성은 유기 경음 /ㅍ , ㅌ , ㅋ /에서 잘 나타난다.

(4) ㄱ. 피 [pʰi]　　　　　　　　　　ㄴ. 페 [pʰe]

유기파열음들은 개방 후 기 (aspiration)자질에 의해 모음이 시작될 때까지 /ㅎ /과 같은 마찰음을 수반하게 되어서 모음 /i/ 앞에서는 넓은 주파수 대역에 강한 에너지가 분포하고, 다른 모음 앞에서는 뒷모음의 공명 주파수대에 약한 에너지가 분포하게 된다.

파찰음 /ㅈ , ㅊ , ㅉ /은 경구개음이기 때문에 파열 후에 나타나는 /ㅅ /계 마찰음이 구개음화된 /ㅅ /과 유사한 음향적 특성을 보인다. 유기음 /ㅊ /의 경우 기자질은 다른 유기파열음의 기와 유사한 음향적 특성을 보인다.

(5) ㄱ. 치 [tɕʰi]　　　　　　　　　　ㄴ. 체 [tɕʰe]

2. 원순음화

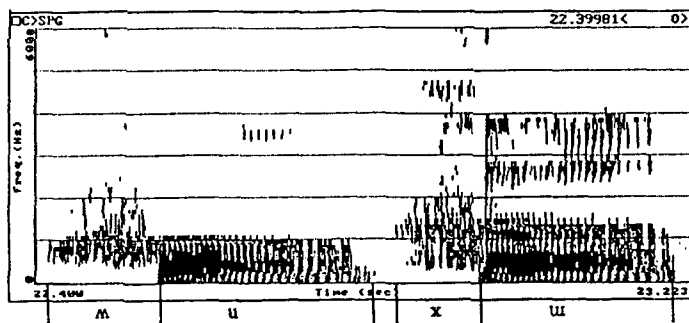
한국어에서 원순모음은 같은 음절 안의 모든 자음과 반모음을 원순화시킨다. 한 음절 안에 비원순 모음이 있더라도 원순 반모음이 있으면 이에 앞서는 자음은 원순음화된다.

(6) 국 [$ĝʷukʷ$], 관 [$ĝʷan$], 교사 [$ĝʷɥo:$sa$], 감독 [$ĝam$dʷokʷ$]

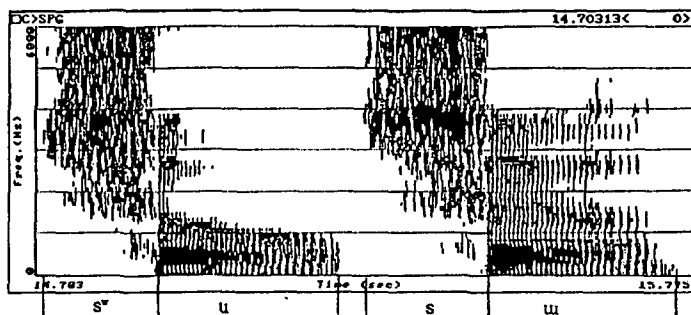
이와 같이 원순음화는 느리고 신중한 말씨에서는 같은 음절 안의 자음들에만 적용되지만, 빠르고 친근한 말씨에서는 왼쪽 음절경계를 넘어 앞음절의 음절말 자음에까지 적용된다. 그러나 원순음화는 아무리 빠른 말씨에서도 오른쪽 모음이나 오른쪽 음절경계를 넘어서 적용되지는 않는다.

원순음화의 음향적 특징은 공명 주파수대의 전반적인 하강과 고주파수대 (특히 3000 Hz 이상)의 에너지의 약화다.

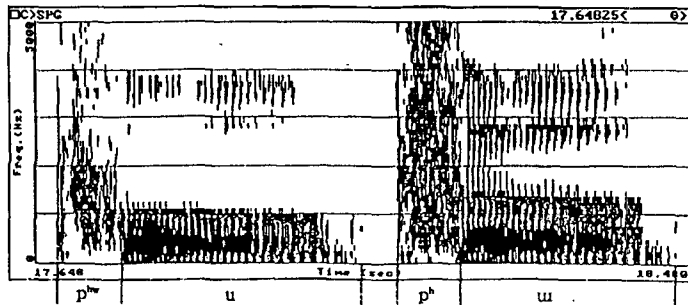
/ㅎ/의 경우 원순모음 앞에서는 고주파수대의 에너지가 스펙트로그램상에 거의 나타나지 않으며 (원순모음의 F3, F4도 매우 약화됨), 중심에너지도 비원순모음 앞에서보다 약간 하강한다.

(7) ㄱ. 후 [ʍu]　　　　　　ㄴ. 흐 [xɯ]

모음 /u/와 /ɯ/는 거의 비슷한 혓모양으로 조음되지만 다른 입술모양으로 조음되기 때문에 위에서 기술한 음향적 차이가 나타난다.

치조마찰음 /ㅅ, ㅆ/의 경우에도 마찬가지 현상이 일어난다.

(8) ㄱ. 수 [sʷu]　　　　　　ㄴ. 스 [sɯ]

위의 스펙트로그램에서 보는 바와 같이 /ㅅ/은 모음 /ɯ/ 앞에서 3500-4000 Hz 사이에 강한 에너지가 분포하고 3000 Hz 이하에서는 에너지가 약한데 반해, 모음 /u/ 앞에서는 /ɯ/ 앞에서보다 3500-4000 Hz 사이의 에너지가 훨씬 약하며, 중심에너지가 약간 하강하며, 3000 Hz 이하에 더 강한 에너지가 분포한다.

파열음과 파찰음의 경우에 원순음화의 음향적 특성은 유기음 /ㅍ, ㅌ, ㅋ, ㅊ/에서 명확하게 나타나는데, 원순음화된 파열음과 파찰음도 파열 후 수반되는 마찰음 단계에서 고주파수대의 에너지가 매우 약화된다.

(9) ㄱ. 푸 [pʰʷu]　　　　　　ㄴ. 프 [pʰɯ]

3. 유성음화

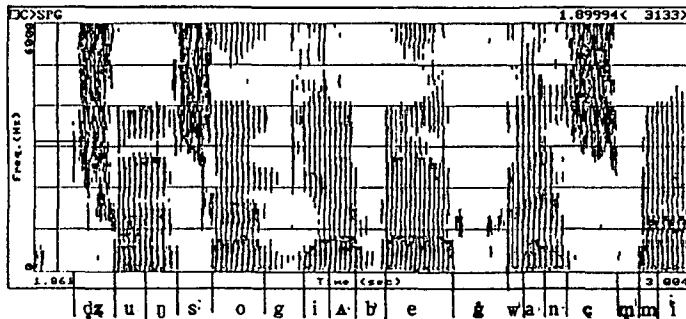
연음 파열음 /ㄱ, ㄷ, ㅂ/과 연음 파찰음 /ㅈ/은 같은 말토막 안에 있는 유성음 사이에서 유성화된다.

(10) 아기 [agi], 바지 [b̥adʑi], 갈비 [g̊albi], 감기 [g̊amgi], 간장 [g̊andʑaŋ]

성문 마찰음 /ㅎ/도 유성음 사이에서 종종 유성음화되며, 아예 탈락하기도 한다. 그리고 연음 마찰음 /ㅅ/은 다음의 예에서 보듯이 비강세 음절에서 약하게 발음될 때 수의적으로 유성화된다.

(11) 경상북도 [g̊ja(:)ŋsaŋbukt*o, g̊ja(:)ŋzaŋbukt*o]
감사합니다 [g̊a(:)msaɦamnida, g̊a(:)mzaɦamnida]

유성음화된 변이음의 음향적 특징은 성대의 진동에 의해 저주파수 대역에 주기적인 세로선 (striation)이 생기는 것인데, 이 세로선을 '울림선 (voice bar)'이라 부른다.

(12) 중소기업에 관심이 [d̥ʑuŋsogiʌbe / g̊wançmi]

위의 스펙트로그램에서 첫번째 /ㄱ/과 /ㅂ/은 같은 말토막 안의 유성음 사이에서 유성음으로 발음됐지만 두번째 /ㄱ/은 앞의 말토막 경계 때문에 무성음으로 발음된 것을 볼 수 있다.

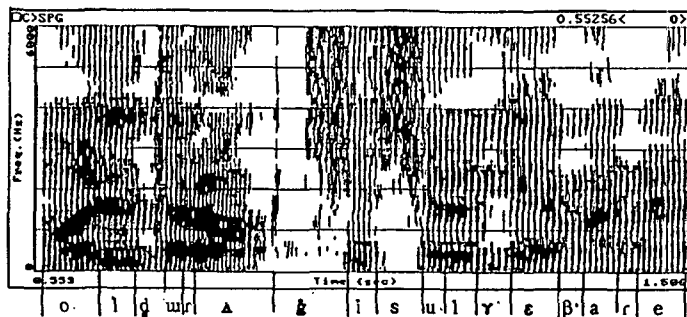
모음 사이에서 일어나는 연음의 유성화는 청취적으로는 그다지 중요한 역할을 하지 않는다. Zhi et al (1990)에서 밝혀졌듯이 모음 사이의 연음과 무기경음의 청취적 구별은 연음의 유성자질보다는 자음의 길이와 앞모음의 길이에 더 의존한다.

4. 자음약화

앞에서 논의한 유성음화에 의해 유성음화된 파열음과 파찰음은 빠르고 다소는 부주의한 말씨에서 약화되어 마찰음이나 접근음 (approximant)으로 발음되기도 하는데 (지민제 1993), 이 자음약화는 주로 모음 사이에서만 일어난다. 경구개 파찰음 /ㅈ/이 약화될 때는 보통 [z]로 발음된다.

(13) 부부 [b̥ubu / b̥uβu], 서당 [sʌdaŋ / sʌd̨(ð)aŋ],
아기 [agi / aɣi], 아줌마 [adʑumma / azumma]

아래의 스펙트로그램에서 보듯이 자음약화에 의해 접근음으로 발음된 변이음은 유성음이므로 저주파수 대역에 울림선이 있으며, 1000 Hz 이상의 주파수 대역에도 주변 모음의 공명주파수대에 약한 에너지가 분포한다.

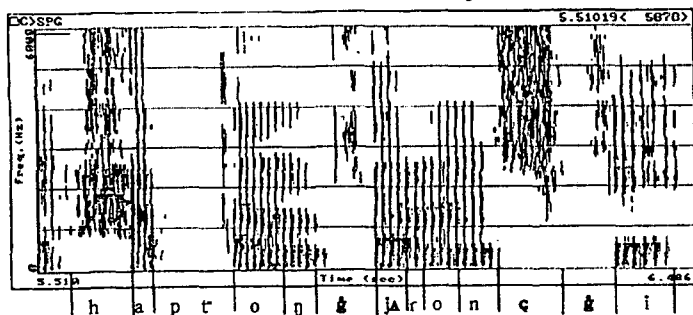
(14) 올들어 기술개발에 [oldɯɾʌ / g̊isulɣɛβare]

5. 무성음화

5.1. 짧은 닫힌모음의 무성화

짧은 닫힌모음 [i, u, y, ɯ]는 유기음 /ㅍ, ㅌ, ㅋ, ㅊ/과 마찰음 /ㅅ, ㅆ, ㅎ/ 다음에서 거의 대부분이 혹은 완전히 무성화된다. 모음 전부가 무성화되는 경우에는 모음이 탈락되었다고 볼 수 있다.

(15) 핀잔 [pʰi̥ndʑan], 시간 [ɕi̥gan], 희안한 [çi̥anɦan], 쉼터 [ʃy̥mtʰʌ], 습도 [sɯ̥pt=o]

짧은 닫힌 모음이 무성화되면 공명주파수대가 없어지고 저주파수 대역의 울림선도 없어진다.

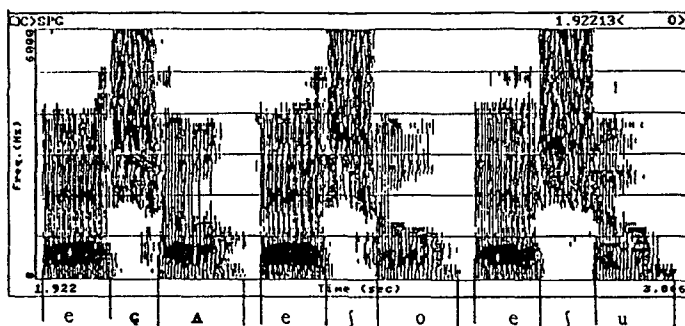
(16) 합동결혼식이 [hapt=oŋ / g̊jʌɾ(ɦ)onɕi̥g̊i]

위의 스펙트로그램에서 모음 /i/가 /ㅅ/ 뒤에서 무성화된 후 /ㅅ/에 융합된 것을 볼 수 있다.

5.2. 반모음의 무성화

반모음은 성문마찰음 /ㅎ/이나 기 (aspiration)자질 [ʰ]의 뒤, 혹은 치조마찰음 /ㅅ, ㅆ/ 다음에서 무성화되고, 이어서 성문마찰음이나 기자질, 또는 치조마찰음과 융합(coalescence)하여 무성의 마찰음으로 발음된다.

(17)　　　　　　무성화　　　　　　융 합
　향수 /hjaŋsu/ ————> hj̥aŋsu ————> [çaŋsu]
　튀김 /tʰwiĝim/ ————> tʰw̥igim ————> [tɰigim]
　오셔서 /osjʌsʌ/ ————> osj̥ʌsʌ ————> [oɕʌsʌ]

아래의 스펙트로그램에서 반모음 /j/가 /ㅅ/ 뒤에서 무성화된 뒤 /ㅅ/에 융합되어서 구개음화된 /ㅅ/의 특징인 2000 Hz - 3000 Hz사이의 에너지 분포를 볼 수 있다.

(18) 에셔 [eɕʌ], 에쇼 [eʃo], 에슈 [eʃu]

6. 무파화 및 무음개방

한국어에는 음절꼬리 (어말 포함)에서 같은 조음위치에서 발음되는 장애음들이 변별력을 잃는 중화현상이 일어난다. 경구개 파찰음 /ㅈ, ㅊ, ㅉ/과 성문마찰음 /ㅎ/은 치조음과 중화된다.

어말에서 중화되어 실현되는 파열음은 무파화되어 개방의 단계가 생략된 채 발음된다. 이 무파화 현상은 장애음에만 일어나는 것이 아니라 비음과 유음에도 일어나며, 어말 뿐만 아니라 어중에서도 동일한 자음이 겹치거나 같은 조음위치에서 발음되는 장애음들이 겹쳐 나와도 일어난다.

(19) 녹 [nok˺], 산 [san˺], 갈대 [ĝal˺t=ɛ], 학교 [hak˺k=jo], 엄마 [ʌm˺ma]

한국어의 자음은 다른 조음위치에서 발음되는 자음에 앞설 경우 개방은 되지만 개방에 따르는 개방음이 들리지 않는 무음개방 (release masking)을 수반한다.

(20) 학생 [haks=ɛŋ], 상대 [saŋdɛ]

7. 튀김소리되기

유음 /ㄹ/은 환경에 따라 [l]계 혀옆소리와 [ɾ]계 튀김소리로 발음된다. [ɾ]계 튀김소리는 모음과 모음 사이, 또는 모음과 반모음 사이에서 나타난다. 그리고 튀김소리는 모

음과 /ㅎ/ 사이에서도 나타나는데, 느리고 신중한 말씨에서는 /ㄹ/과 /ㅎ/ 사이에 음절 경계가 와서 /ㄹ/이 혀옆소리로 발음된다.

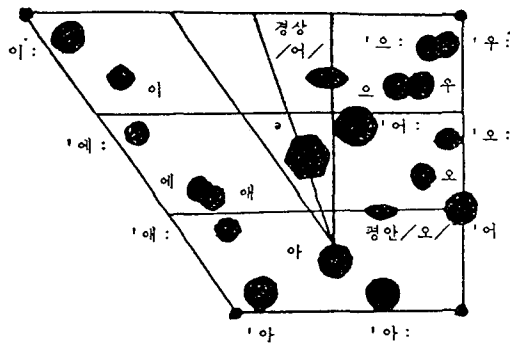
(21) 우리 [uɾi], 사람 [sa:ɾam], 고려 [g̊oɾjʌ], 우뢰[uɾʷe], 결혼 [g̊jʌlhon / g̊jʌɾ̥hon]

어두에 /ㄹ/이 나타나는 외래어들이 있는데, 이 경우 보통 [ɾ]계 튀김소리로 발음되지만 개인에 따라 [l]계 혀옆소리로 발음되기도 한다.

(22) 라디오 [ɾadio] /[ladio], 라면 [ɾamjʌn] /[lamjʌn]

8. 모음 약화

같은 모음이라도 장단, 강세, 말의 속도와 스타일 등의 요인들에 의해 음가가 조금씩 다르게 발음된다. 모음이 길거나 강하게, 혹은 느리게 발음될 때는 짧거나 약하게, 혹은 빠르게 발음될 때보다 모음사각도 상에서 외곽에 위치하는 음가로 발음되는 경향이 있다.

(23) 모음 사각도상의 한국어 음가

※ 이현복 (1989)에서 인용

위의 모음 사각도에서 보는 바와 같이 예외적으로 모음 /ㅓ/는 짧게 발음되는 변이음의 음가가 길게 발음되는 변이음의 음가보다 모음사각도에서 더 외곽에 위치한다.

9. /ㅚ, ㅟ, ㅢ/의 변이음

9.1. /ㅚ/와 /ㅟ/

/ㅚ/와 /ㅟ/는 낱말의 첫음절이나 마지막 음절에서 이중모음 [we]와 [ɥi]로 각각 발음되는 경향이 있는데, 첫음절이 자음으로 시작하면 단순모음 [ø]와 [y]로 각각 발음되기도 하며 (특히 다음절어일 경우), 양순음 받침으로 끝날 때는 이음절어 이상에서는 보통 단순모음으로 발음된다. 어중에서는 주로 단순모음 [ø]와 [y]로 실현되는데, /ㅟ/는 앞에 자음이 앞서지 않으면 이중모음 [ɥi]로 발음된다.

(24) 1. 이중모음으로 실현되는 경우:
 ㄱ, 어두에서: 쇠 [swe], 외국 [weguk], 귀국 [g̊ɥiguk]
 ㄴ, 어중에서 ('위'만 이중모음으로): 거위털 [g̊ʌɥitʰʌl], 가위질 [g̊aɥidʑil]

ㄷ, 어말에서: 열쇠 [jʌls=we], 더위 [dʌɥi]

2. 단순모음으로 실현되는 경우:

ㄱ, 어두에서: 쉼터 [ʃymtʰʌ], 쇠몽둥이 [sømoŋduŋi]

ㄴ, 어중에서: 참외밭 [tɕʰamøbat], 물귀신 [mulk=yɕin]

9.2. /ㅢ/

/ㅢ/는 낱말의 첫음절에서 자음이 앞서지 않으면 이중모음 [ɰi]로 발음되고, 자음이 앞서면 / ㅣ/로 발음된다. 둘째 음절 이하에서는 보통 / ㅣ/로 발음되는데, 느리고 신중하게 발음될 때는 이중모음 [ɰi]로 실현되기도 하며, 자음의 개입이 없이 뒤이어 / ㅣ/가 나오면 두개의 / ㅣ/요소가 중복되기 때문에 첫 / ㅣ/ 요소가 탈락되어 /ㅡ/로 실현된다. 그리고 조사 '의'는 보통 / ㅔ/로 발음되는데, 느린 말씨에서는 이중모음 [ɰi]로 발음되기도 한다.

(25) 1. 첫음절에서:

ㄱ, 자음이 앞서지 않을 경우: 의사 [ɰisa], 의미 [ɰimi]

ㄴ, 자음이 앞설 경우: 희망 [çimaŋ], 띄어쓰기 [t=iʌs=ɯgi]

2. 둘째음절 이하에서:

ㄱ, 아래의 경우가 아닐 때: 신의 [ɕinɰi / ɕini]

ㄴ, 뒤에 / ㅣ/가 올 때: 의의 [ɯi]

ㄷ, 자음이 앞설 때: 유희 [juçi], 무늬 [muni]

ㄹ, 조사 '의'의 경우: 우리의 [uriɰi / urie]

III. 맺음말

이상에서 한국어의 변이음 규칙들 중 음성공학에 필요하다고 생각되는 규칙들을 선택해서 간단히 논의하고, 중요한 몇몇 변이음들의 음향적 특징에 대해서도 논의하였다. 지면의 제약으로 보다 자세하게 논의하지 못한 아쉬움이 남는다. 이 논문이 음성공학에 조금이라도 기여하길 기대한다.

참고문헌

[1] 김영송, "한국어 마찰음 연구", 우리말 연구 제 1집, 우리말 연구회, 1991.

[2] 이현복, 한국어의 표준발음, 교육과학사, 1989.

[3] 이호영, "한국어의 변이음 규칙과 변이음의 결정요인들", 말소리 21-22호, 대한음성학회, 1992.

[4] 이호영, 지민제, 김영송, "동시조음에 의한 변이음들의 음향적 특성", 한글 제 220호, 한글학회, 1993.

[5] 지민제, "소리의 길이", 새국어생활 제 3권 제 1호, 국립국어연구원, 1993.

[6] Heinz, J.M. and K.N. Stevens, "On the Properties of Voiceless Fricative Consonants", Journal of Acoustical Society of America 33, 1961.

[7] Pickett, J.M, The Sounds of Speech Communication, Baltimore: University Park Press, 1980.

[8] Zhi, M., Lee, Y.J. and Lee, H.B., "Temporal Structure of Korean Plosives in /VCV/", Proceedings of SICONLP'90, Seoul, 1990.